

山型邪魔板による気泡流動が MBR 膜ファウリングの抑制に与える影響

東京都市大学 学生会員 ○小林 智哉
 東京都市大学大学院 学生会員 野口 智代
 東京都市大学 正会員 長岡 裕

1. はじめに

膜分離活性汚泥法 (MBR: Membrane Bioreactor) は、膜分離技術を用いることで排水中の固形物と処理水に完全に分離させることが可能な排水処理方法である。排水処理施設への MBR 普及の課題として、維持管理コストの高さが挙げられる。MBR 施設の維持管理コストのうち約 32.7% は電力費であり、電力費の約 65% は、曝気による消費電力が占めている¹⁾。MBR 施設をさらに普及させるためには、維持管理コストの低減を目的とした曝気による消費電力の削減が不可欠である。

MBR 施設で使用される曝気には、排水中の汚泥が膜細孔に詰まることで発生する膜ファウリングを抑える膜面洗浄のための空気と、生物反応を促し高汚泥濃度を保持する空気の 2 つの役割がある。膜ファウリングを抑制させる曝気には粗大気泡を発生させる必要があり、生物反応以外にも多量の曝気が必要になる。そのため、空気量を抑えた形で粗大気泡を発生させる効率的な曝気方法が重要となる。

丸林ら²⁾の研究によれば、散気管から発生した気泡が空気だまりをつくるために設置した邪魔板を介することで、粗大気泡の発生や気泡を膜表面へ分散させる効果があることが分かった。さらに、粗大気泡や気泡の分散により膜ファウリング抑制効果が示された。

本研究では、MBR 施設の導入の課題とされる曝気による消費電力の削減に向けた効率的な曝気方法として、山型邪魔板を散気装置に設置し汚泥実験を行う過抵抗上昇速度から膜ファウリング抑制効果の有無を調べ、また、山型邪魔板から膜表面に分布する気泡の大きさ・形状を解析し、膜フ

ァウリング抑制効果と気泡の形状に関係性があるのかを明らかにする。

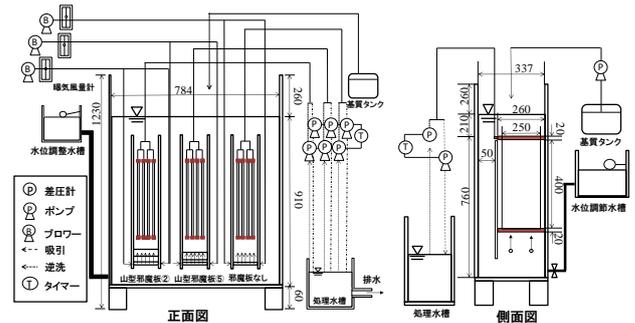


図-1: 汚泥実験における実験装置

(左: 正面, 右: 側面図)

2. 研究概要

2.1 汚泥実験

図-1 に汚泥実験における実験装置を示す。実験装置は 784mm×縦 1,230mm×幅 337mm の有効容積 240L のアクリル製水槽を使用した。水槽内には活性汚泥で満たし、膜ファウリング抑制効果を比較するために、横 262mm×縦 670mm×幅 95mm のアクリル製のユニットを 3 機浸漬させた。図-2 に本研究で使用している山型邪魔板を示す。図-3 中、各山型邪魔板の右図が側面、左図が立体図である。山型邪魔板の内訳は、山型邪魔板との散気管との間隔を開けた方法、山型邪魔板の真ん中に仕切りを設けた方法、邪魔板なしとして、本発表では各山型邪魔板を順に山型邪魔板①、山型邪魔板②、山型邪魔板なしとする。各ユニットに曝気を行うために内径 5mm 外径 10mm のアクリル製の散気管を、セラミック平膜下端の鉛直直下 200mm の位置に設置した。散気管には、Φ3mm の空気穴を 20mm 間隔で 5 ヶ所設けた。ユニットにはセラミック平膜 (明電舎製) を 4 枚ずつ挿入し、装置全体で計 12 枚の平膜を使用した。

キーワード 山型邪魔板, MBR, 膜ファウリング, 気泡径解析.

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 Tel : 03-5707-0104 E-mail : g1418040@tcu.ac.jp

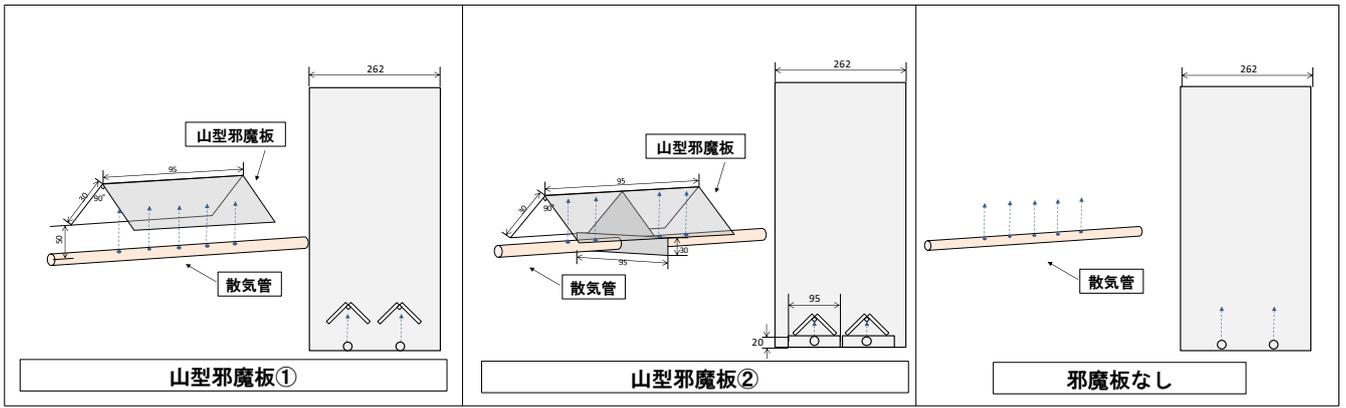


図-2：本研究で使用した山型邪魔板

表-1に汚泥実験における実験条件を示す。本研究では MLSS 濃度を变化させ測定を行った。

表-1：汚泥実験における実験条件

項目	条件		
経過日数[day]	248-669	707-813	834-892
TOC容積負荷 [kg-TOC/m ³ ・day]	0.4		
MLSS濃度[mg/L]	4000±500	10000±1000	2000±1000
エアーフラックス[m/day]	0.025		
ろ過フラックス[m/day]	0.594		
逆洗フラックス[m/day]	1.008		
運転サイクル[min]	9.5 (吸引) -0.5 (逆流洗浄)		

2.2 気泡径解析

図-3に気泡径解析で用いた実験装置を示す。図中、上が正面図，下が側面図である。横 360mm×縦 990mm×幅 360mm のアクリル製の水槽に、有効容積 117L になるように水道水で満たした。測定時、実験水槽の側面から Laser (G2000：カトウ光研社製) を膜表面から約 3mm の位置に照射するように設置し、正面から 800mm の距離から高速カメラ (K4：カトウ光研社製) を使用して曝気による膜面上の気泡流を撮影した。表-2 に気泡径解析時の実験条件を示す。映像の撮影に際し、増粘剤 (グリセリン) を用いて水槽中の水道水に粘性を持たせた。粘度は振動粘度の値で段階的に 4.93 (mPa・s), 2.33 (mPa・s), 1.63 (mPa・s) と下げた。この数値に粘度を合わせたのは、汚泥実験の各 MLSS 濃度条件の測定値の算術平均を求めると、MLSS 濃度 4,000±500 (mg/L) では 2.23(mPa・s), MLSS 濃度 10,000±1000 (mg/L) では 4.81 (mPa・s), MLSS 濃度 2,000±500 (mg/L) では 1.50 (mPa・s) であったことから、それらに粘度を近づけたためである。

撮影した動画から任意の画像を選択し、気泡径解析を行った。選択した画像から気泡径を割り出すた

めに、Excel の線で囲うことのできる機能を使用し周長の長さから囲った範囲の面積を割り出せるソフトウェア：lenara222 を用いて、選択した画像内での気泡の断面積を割り出した。気泡の断面積 A から式(1)により気泡 D の直径を算出した。

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (1)$$

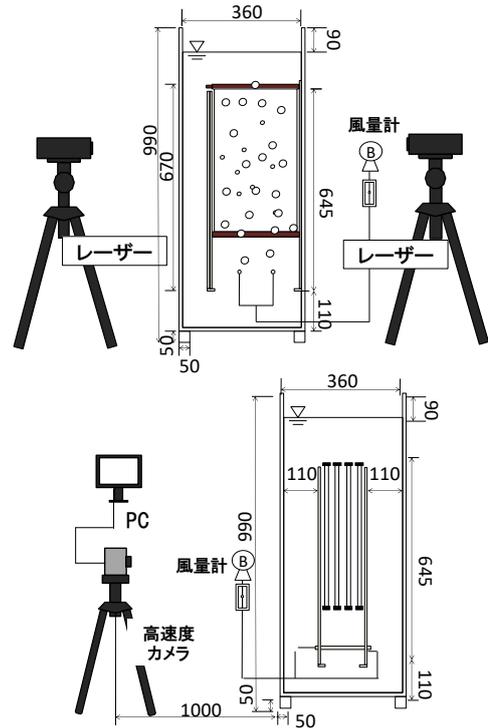


図-3：気泡径解析で用いた実験装置 (上：正面図，下：側面図)

表-2：気泡径解析撮影時の実験条件

項目	条件
エアーフラックス [m/day]	0.025
撮影スピード [fps]	500
撮影画格 [pixel]	600×800
撮影時間 [s]	20
粘度 [mPa・s]	1.63・2.33・4.93

3. 研究結果および考察

3.1. 算出方法

3.1.1. ろ過抵抗およびろ過抵抗上昇速度

膜間差圧の測定結果から、ろ過抵抗およびろ過抵抗上昇速度を計算した。ろ過抵抗、ろ過抵抗上昇速度の算出式を式(2)、式(3)にそれぞれ示す。

$$\text{ろ過抵抗 } R(m^{-1}) = \frac{P}{J \cdot \mu} \quad (2)$$

但し、Pは膜間差圧(kPa)、Jはろ過フラックス(m/day)、 μ は粘性係数(Pa・s)を表す。

$$\text{ろ過抵抗上昇速度}(/m/day) = \frac{R_a - R_b}{T} \quad (3)$$

但し、 R_a は膜ファウリング直後のろ過抵抗(m⁻¹)、 R_b は膜洗浄直後のろ過抵抗(m⁻¹)、Tは各ユニットの設定したMLSS濃度での運転期間(day)を表す。

3.1.2. 累積頻度

気泡径の分布の様子を気泡の体積による累積頻度により示すために各気泡の体積割合を、式(3)を用いて算出した。式(4)により算出した各気泡の体積割合を気泡径が増加していくたびに足し合わせていったものを、気泡径の累積頻度(体積)と定義した。

$$\text{各気泡の体積割合(\%)} = \frac{\text{各気泡の体積}(mm^3)}{\text{解析した気泡の全体積}(mm^3)} \times 100 \quad (4)$$

3.2 実験結果および解析結果

3.2.1. 汚泥実験

図-4にMLSS濃度、図-5に振動粘度の経日変化を示す。

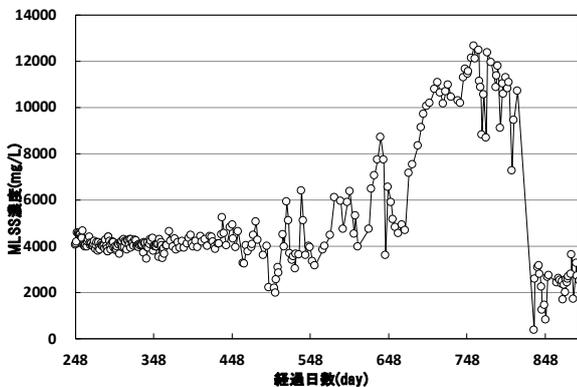


図-4：MLSS濃度の経日変化

MLSS濃度の変化によって振動粘度が変動してい

ることが分かる。振動粘度の経日変化から、各MLSS濃度期間に対応した振動粘度の算術平均値を気泡径解析撮影時の粘度とした。

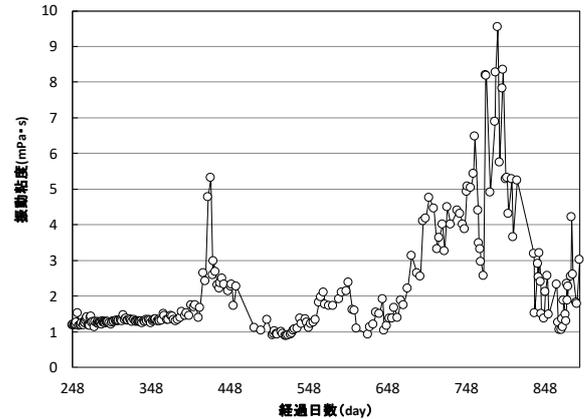


図-5：振動粘度の経日変化

図-6にMLSS濃度別のろ過抵抗上昇速度を示す。図-6において、横軸は各MLSS濃度条件期間の日数での算術平均値を示している。

邪魔板なしと山型邪魔板①を比べると、MLSS濃度を変化させても何れのMLSS濃度でも、山型邪魔板①のろ過抵抗上昇速度が低い。これは、山型邪魔板①には、膜ファウリング発生までの期間が長く、膜ファウリング抑制効果が高いことを示している。一方、山型邪魔板②は、膜ファウリングの抑制効果が低いことが分かる。更に汚泥条件を高MLSS濃度に近づけていくに連れて、ろ過抵抗上昇速度はある数値に収束していくことが示唆される。

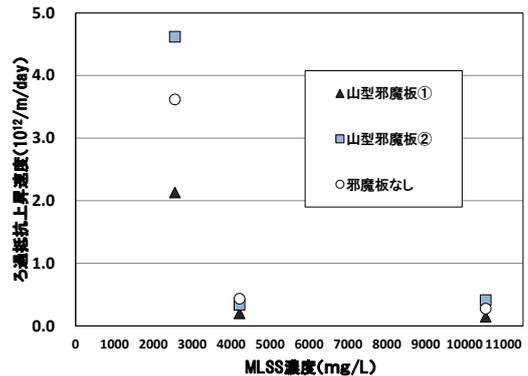


図-6：MLSS濃度別のろ過抵抗上昇速度

3.2.2. 気泡径解析

図-7に振動粘度1.63(mPa・s)における累積頻度、図-8に振動粘度2.33(mPa・s)における累積頻度、図-9に振動粘度4.93(mPa・s)における累積頻度を示す。

図-7の振動粘度1.63(mPa・s)における累積頻度に

において、邪魔板なしと山型邪魔板①とを比較すると、膜表面に分布する気泡の割合には大きな違いは見られない。それらのユニットの山型邪魔板②を比較すると、山型邪魔板②には、気泡の大きな気泡が多く分布していることが分かる。

図-8の振動粘度 2.33 (mPa・s) における累積頻度において、本研究に使用しているユニット全てにおいて膜表面に分布している気泡の大きさに差異は見られなかった。

図-9の振動粘度 4.93 (mPa・s) における累積頻度において、邪魔板なしと山型邪魔板①を比較すると、図-8の結果同様、膜表面に分布する気泡の割合に違いは無かった。邪魔板なしと山型邪魔板②では、後者の方が膜表面に分布する気泡の内、径の大きな気泡の割合が多いことが分かる。

これらの気泡径の累積頻度の解析結果から、ろ過抵抗上昇速度の低く膜ファウリングに効果が高いことが分かった山型邪魔板①は、膜表面に分布する気泡の大きさと膜ファウリング抑制に与える影響の関係性は低いと言える。

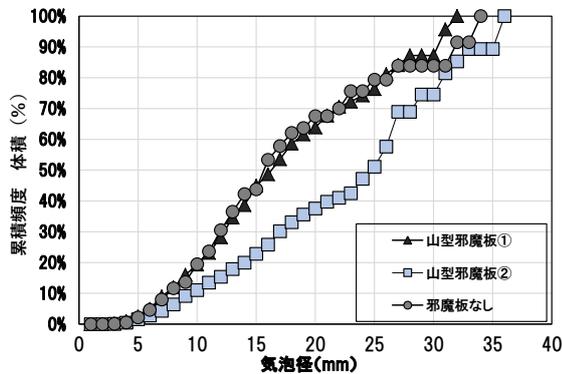


図-7：振動粘度 1.63 (mPa・s) における累積頻度

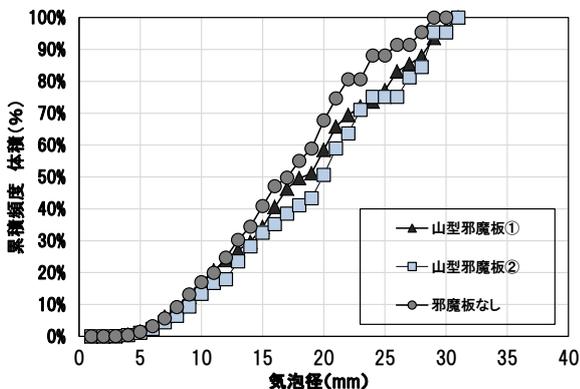


図-8：振動粘度 2.33 (mPa・s) における累積頻度

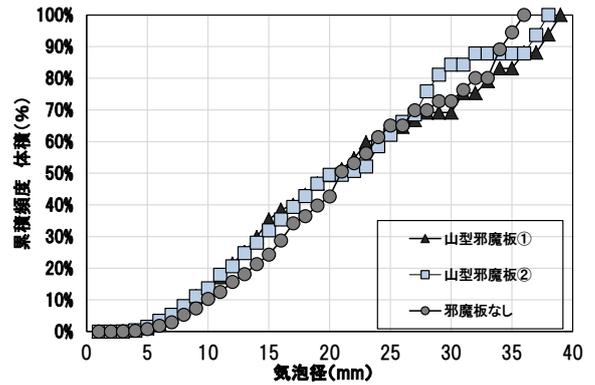


図-9：振動粘度 4.93 (mPa・s) における累積頻度

4. まとめ

膜ファウリング抑制を目的とした、山型邪魔板を用いた汚泥実験と気泡径の解析を行った結果、以下のような知見が考えられる。

- 1) ろ過抵抗上昇速度の比較結果から、MLSS 濃度の高低に関わらず、山型邪魔板①のろ過抵抗上昇速度が低く、膜ファウリングを抑える効果がある。高濃度になるに従いろ過抵抗上昇速度は一定の数値に収束する。
- 2) 気泡径の解析結果から、膜ファウリング抑制効果の高い山型邪魔板①は、邪魔板なしと比べると分布に差異はない。それに比べ膜ファウリング抑制効果の低い山型邪魔板②は径の大きな気泡が多く分布していることから、膜ファウリング抑制と膜面の気泡の大きさとの関係性は低い。

5. 参考文献

- 1) 山本和夫, MBR (膜分離活性汚泥法) による水活用技術, 2010年
- 2) 丸林修, 長岡裕: 膜分活性汚泥法 (MBR) における曝気による膜面洗浄の効率化へ向けた研究. 土木学会関東支部技術研究発表会概要集. P2-P14